

## Web を利用した遠隔講義システムでの端末間連動と教材同期表示

于冬 久義信一 三部靖夫

NTT データ通信(株) マルチメディア技術センタ

〒 210 川崎市幸区堀川町 66-2 畿和川崎西口ビル 10F  
TEL: 044-548-4614 FAX: 044-548-4694 Email: uto@mm.rd.nttdatapl

### あらまし

我々は、WWWとそのブラウザを用いて教材情報の提示を行う遠隔講義システムの開発を行っている。本システムでは教師と生徒間の情報共有は端末間連動および教材同期表示機能によって実現、保証される。教師はHTMLで書かれた教材を生徒に見せながら、音声を用いて教材の解説を行う。更に教師は黒板を利用する感覚でチャート機能を使用し、教材に直接注釈を書き込むことも可能である。生徒はテキスト・チャットまたは音声によるコミュニケーション機能を用いて、随時教師に質問することができ、教師も同様な手段を用いて即座に質問に答えることができる。本稿では、端末間連動と教材同期表示機能を中心に本システムの特徴と実現方法について述べる。

キーワード 遠隔講義、WWW、端末同期、マルチメディア通信、VOD

## Inter-terminal Operation and Contents Display Synchronization in a Web-based Distance Teaching System

Dong Yu, Shin-ichi Kuga, Yasuo Sambe

NTT Data Communications Systems Corporation

66-2 Horikawa-cho, Sawai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210, Japan  
TEL: +81 44-548-4614 FAX: +81 44-548-4694 Email: uto@mm.rd.nttdatapl

### Abstract

We're now developing a Web-based multimedia distance teaching system. Teacher and students gain access to courseware stored on the server through a Web browser and can share the same information by using the inter-terminal operation and contents display synchronization feature. During the lecture, teacher can use real-time audio to make explanation of the courseware and students can ask the teacher questions using either text chat or audio at any time. In this paper, we will mainly describe the realization of how students can share teacher's operation and the same text information displayed on teacher's terminal.

key words Distance Teaching, WWW, Inter-terminal Synchronization, Multimedia Communication, VOD

## 1はじめに

従来、物理的に離れている複数の地点を結んで、遠隔講義を行うためのシステムとして、衛星放送とテレビ会議システムが多く用いられてきた。しかし、このようなシステムでは、情報提示は主にテレビ映像を利用して行うため、解像度の限界により文字と图形情報は見えにくい。また、情報は教師から生徒まで一方的に伝達されるため、生徒と教師間ににおける質疑応答は容易に行なうことはできない。教材の細部を映したり、生徒の質問を受け付けたりするには、ズームやカメラ切り替えといった操作を頻繁に行なわなければならぬため、教師に大きな負担がかかり、講義の円滑な進行が困難である[1]。

本稿では現在我々の所で構想と開発を進めている、WWWを利用した遠隔地講義システムについて紹介する。本システムでは講義内容の情報提示にWWWとそのプラウザを用いて行う。教師と生徒間の情報共有は端末間連動および教材同期表示機能によって実現・保証される。教師は用意したハイパーテキスト形式の教材を生徒に見せながら、音声を用いて教材の解説を行ふ。更に教師は黒板を利用する感覚で、チャート機能を使用して教材に直接注釈を書き込むことも可能である。生徒はテキストチャットまたは音声によるコミュニケーション機能を用いて、随時教師に質問することができ、教師も同様な手段を用いて即座に質問に答えることができる。上記のような各機能を備えた遠隔講義システムを利用することにより、従来教室内で行われている対面授業に近い、遠隔教育の環境が実現可能だと考えられる。

## 2システムの概要

### 2.1システムの特徴

本稿で紹介する試作システムは生徒による独学と教師による講義を両方サポートする。その主な特徴は以下のようになっている。

#### 独学モードと講義モードに共通する特徴:

- 教材の表示と作成はWWWを利用して行っている。このことによりさまざまなHTML文書作成支援ツールが利用できる上、インターネット上にあるさまざまな情報に簡単にアクセスでききるようになる。

2. 教材の素材としてテキストや静止画のほかに、語学教育に欠かせないビデオ素材も効果的に活用することができる。ビデオデータはビデオサーバに蓄積されており、クライアントからのリクエストに応じてコンスタント・ビットレートでサーバからクライアントへ伝送される。映像品質はVHSレベルのMPEG1から高品質のMPEG2までサポートできる。

3. クライアントにおけるビデオ再生などの機能はヘルパー・アプリケーションではなく、ブラウザのプラグインとして実現されているため、利用しやすいユーザ・インターフェースになっている。

4. 教師と生徒間におけるコミュニケーションの手段として、テキスト・チャットによる1:N通信機能とリアルタイム音声による1:N通信機能を実現している。これらの通信機能はできるだけ使いやすいようにデザインされており、仮想教室において、教師と生徒との間で円滑なコミュニケーションが実現可能である。

図1は本システムのユーザ・インターフェースを示している。独学モードの詳細および上記機能の実現方法については、文献[3]において詳しく紹介されている。



図1: クライアント GUI インターフェース

#### 遠隔地講義モードの特徴:

- 端末間連動と教材同期表示による情報共有  
本システムではカメラ映像を利用する代わりに教師と生徒ブラウザ間操作の連動によって教材情報の提示を行っている。従来のテレビ会議システムを利用した遠隔講義システムに比べて、

この方法では少ない労力でより多くの情報を教師と生徒間ににおいて共有できるようになる。将来的には、教師がさまざまなソフトウェアの操作方法を生徒に教えられるように、この機能を拡張する予定である。

- 教材同期表示を保証する仕組みを備えている教材提示にWWWと汎用ブラウザを利用しているため、教師と各生徒は常に同じHTMLテキストを見ていることをなんらかの仕組みで保証しなければならない。本システムではLesson Managerを導入することでこの問題を解決している。Lesson Managerの詳細については5節で説明する。
- 教師による生徒端末状態の把握  
教師がハイパーテキスト教材上にあるリンクを選択した時、リンク先のテキスト内容がHTTPサーバから送られてきて、ブラウザに表示されるまでに要する時間は各端末において一定ではなく、さまざまな要因によってその時間にばらつきが生じることがある。講義をスムーズに進行させるために、教師はどの生徒がどこまで教材をロードしたかといった情報を把握できる必要がある。本システムではLesson Managerの機能の一つとして生徒端末における教材のロード進行状態をリアルタイムで教師に提供する機能を実現している。
- チョーク機能  
講義中に教師がマウスを用いて教材上に注釈などを書き込んだりするのに利用する機能である。

## 2.2 システムの構成

本システムはCampus Manager (CM)、Lesson Manager (LM)、WWWサーバ(httppd)、ビデオサーバ、教師端末、そして生徒端末という6つのコンポーネントから構成される(図2)。すべてのコンポーネントはネットワークによって接続されている。このうち、CMはユーザ情報と講義カリキュラムに関するデータベースを持ち、ユーザのログインとログアウト、LMの立ち上げおよび管理など、システム全体の運営管理を行う。LMは仮想教室上で行われる特定の講義の進行を管理することが主な役割であり、端末間連動と教材同期表示、生徒端末状態管理といった重要な機能はLMによって実現されている。

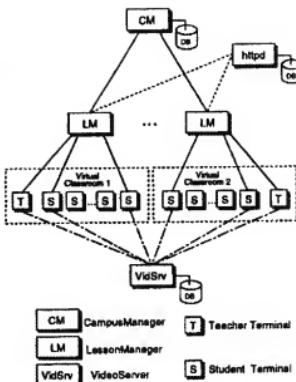


図2: システム構成

### 2.3 本システムにおける遠隔操作のシナリオ

- 各生徒は事前に受ける授業を登録しておく。
- 教師がログインし、講義参加の受け付けを始める。
- 登録済みで、かつ現在ログイン中の生徒に講義通知が送られる。
- 通知を受けた生徒は一定時間内に講義参加の選択を行う。
- 教師は講義を開始し、生徒端末を遠隔操作する。
- 教師は教材を生徒に見せながら、音声で説明をする。
- チョーク機能を使って、教材に注釈を書き込んだりする。
- 生徒はテキストチャットまたは音声で質問する。
- 自習時間では教師は遠隔操作を一時中止し、独学モードにする。
- 自習時の生徒の進み具合などを教師はモニタリングできる。
- 教師は講義を終了する。

以下の節では本システムの特徴である端末間連動と教材同期表示による教材提示と情報共有について

述べる。

### 3 端末間連動と教材同期表示

本システムでは、教師が仮想教室上で講義を行う際、教師の行った操作がリアルタイムで生徒端末において再現される端末間連動と教材同期表示機能を実現している。端末間連動は主に教師と生徒端末間ににおけるマウスポインターの移動、ボタンの押下、キー入力、およびメニュー選択といった操作の連動を意味する。一方、教材同期表示は教師があるHTML教材をロード・表示した場合、全ての生徒端末も同じ教材をロード・表示し、教師と生徒が常に同じ教材を共有できることを言う。教材同期表示の実現にURL(Uniform Resource Locator)に着目したURL連動方式がある[2]。この方式では、教師がロードした教材のURLはネットワークを通じて教師端末から生徒端末に送信される。生徒端末は受けとったURLを用いてHTTPサーバにリクエストを送信し、教師と同じ教材をロードし画面に表示することで、教師端末との教材同期表示を実現している(図3)。この方式は実現は簡単ではあるが、ブラウザに変更を加えずにURLを取り出すことは一般的に困難であり、従って汎用のブラウザを利用することはできない。また、この方式ではマウスの操作、キー入力などの連動は別の方法で実現しなければならない。

本システムでは、URLの代わりにウインドウズのイベントを利用するイベント連動方式を用いて端末間連動および教材同期表示の実現を試みる。

#### 3.1 イベントによる端末間連動の実現

イベントによる端末間連動は以下のように実現される。

1. 教師端末で発生したウインドウズ・イベントがブラウザに伝わる前にそのコピーを一部入手する。
2. 入手したイベント情報をネットワークを通じて各生徒端末に伝送する。
3. 生徒端末はイベントを受け取り、そのイベントがあたかも自分の端末で発生したものかのように再生する。

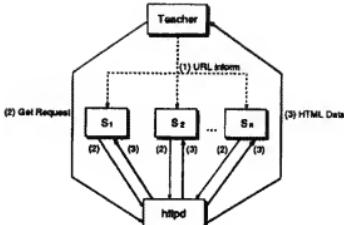


図3: URLによる端末間教材同期表示

イベントの入手と再生はWindowsのHookプロセッサによって実行する。教師端末で発生したキー入力やマウスイベントはJournal Record Hookプロセッサによって採取され、生徒端末においてJournal Playback Hookプロセッサによって再生される(図4)。

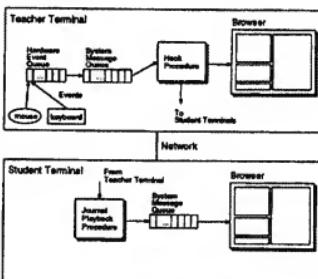


図4: イベントによる端末間操作連動の実現

イベントによる端末間連動では、教師と生徒端末間ににおけるマウスポインターの移動、ボタンクリック、キー入力、メニュー操作がすべて連動することになるため、教師と生徒端末が同一環境であることを保証されれば、端末間に教材同期表示も同時に実現されることになる。ここでいう同一環境とは以下に示す条件を満たす環境のことを意味す

る。

- 同じ OS である。(本システムでは Windows95 を使用している。)
- 同じディスプレー解像度 (1024x768, 1280x1024) である。
- 同じブラウザを使用し、フォントなどの初期設定が同じである。
- ブラウザのディスプレー上における位置とサイズが同じである。

本システムでは、教師端末から生徒端末へのイベント伝送は次節で述べる Lesson Manager(LM) を経由して行なうようにしている。イベントは教師端末から TCP(Transmission Control Protocol) を用いて LM に伝送され、LM より UDP(User Datagram Protocol) を用いて multicast または unicast で各生徒端末まで中継される。このことにより、LM におけるイベント伝送の最適化が図りやすくなる。

### 3.2 イベント連動方式の利点

イベントによる端末間連動には以下のような利点がある。

- 教師と生徒端末間の高度な連動が可能である。
- 端末間教材同期表示が実現できる。
- 汎用性、拡張性に優れている。
- 講義と演習モードを瞬時に切り替えることができる。
- アプリケーションの共有を用いた共同作業環境が実現しやすい。

### 3.3 イベント連動方式の問題点

イベント連動には上記の利点がある一方で、以下に示す問題点もある。

- 各端末が同一環境である必要がある。
- 教材同期表示が保証できない。汎用のブラウザを使用しているため、ブラウザがどの URL をロード、表示しているかを知ることは困難である。したがって、すべてのブラウザが正しい教材をロードしていることを確認する手立てはない。何らかの原因で一旦同期が外れれば、それを検知し、回復させることはできない。

- 教師は生徒端末における HTML 文書のロード進行状態を把握できない。すべての端末が同じ HTML 文書をロードしあわるまでにかかる時間は同じではない。特に高速 LAN と低速回線接続が混在するような環境ではロード時間に大きなばらつきが生じる。遠隔講義をスムーズに行なうには、教師が各生徒端末における教材ロード進行状況を把握できる必要がある。しかし、上記同様の理由により汎用ブラウザを使用している場合、生徒端末の進行状況を把握することはできない。

本システムでは Lesson Manager を導入することによって、上記 2. と 3. の問題解決を図った。

### 4 Lesson Manager の導入とその役割

WWW 情報サービスシステムでは、クライアントとサーバ間は HTTP という Request と Response から成る簡単なメッセージ指向プロトコルを用いて、情報のやり取りを行なうようになっている [4]。クライアントはサーバとのコネクションを設立し、サーバから入手したい情報の URL を HTTP Request の形でサーバに送信する。Request を受け取ったサーバは要求された情報をディスクから読み取り、HTTP Response の形でクライアントに伝送し、クライアントとのコネクションを切断する。WWW におけるすべてのやり取りがこの形で行われることから、HTTP レイヤにおけるクライアントとサーバ間のやり取りをチェックすることによって、クライアントが現在どんな情報をロードし、どこまでロードし終わったかを知ることができる。

本システムでは、端末とサーバ間に Lesson Manager(以下略して LM と呼ぶ)を設置し、遠隔講義時における端末と HTTP サーバとのやりとりを全て LM 経由で行なわせるようにしている。LM は PROXY-HTTP 機能をサポートし、端末からのリクエストとそれに対するサーバからの返事(Response)を中継することができる。今日の WWW ブラウザはほぼ全て PROXY 機能をサポートしているため、ブラウザを変更する必要はない。

LM における PROXY 機能はクライアントのリクエストをサーバに中継する意味では通常の PROXY-HTTP サーバと似ているが、遠隔講義という目的に合うように最適化されている。たとえば、LM は教

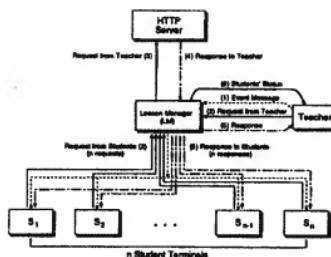


図 5: LM の仕組みと役割

教師端末と複数の生徒端末からほぼ同時に到着するリクエストの中から教師のリクエストのみをサーバに送信する。生徒端末からのリクエストはLMで止められ、HTTPサーバーに中継されることはない。端末とLMの間では講義に参加している端末の数だけのリクエストと返事が同時に行き来するが、LMとHTTPサーバーの間では常に一つのリクエストと返事しか発生しない(図5)。

LMを利用することによって、イベント連動における誰問題を解決することができるほか、全ての端末が教材をロードし終るまで要する端末間同期遅延時間の短縮、LM複数設置による負荷分散とサポートユーザ数の増加、学習履歴の保存と活用といった効果が期待できる。

#### 4.1 LM による端末間教材同期表示の保証

全ての端末からのリクエストがLMに送られるため、LMにおいて各生徒端末からのリクエストを教師端末のそれと比較することによって生徒端末が教師端末と同じ教材をロード・表示しているかをチェックすることができる。生徒端末よりHTTPリクエストがなかったり、または教師端末と異なるリクエストが検出された場合、LMから正しいリクエストをその端末に通知し、教材を再度ロードさせることにより、教師と生徒端末における教材同期表示を保証することができる。

#### 4.2 LM による生徒端末状態表示機能の実現

HTTPサーバからの返事は全てLM経由で各端末に送信されるため、LMにおいて各端末の教材ロード状況を把握することができる。生徒端末の状態をLMよりリアルタイムで教師端末に送信して表示すれば、教師による生徒端末の進行状況の把握ができ、速報講義のスムーズな進行が可能になる。

4.1と4.2は具体的に以下のように実現されている。なお、一つの講義で複数のLMを使用した場合、二つ目以降のLMをSecondary LMと呼ぶ。これに対し、教師端末のリクエストを直接受け付けるLMをPrimary LMと言う。

- 各LMは教師および生徒端末からHTTPリクエストを受ける。(LMが複数存在する場合、教師端末のリクエストはPrimary LM経由でSecondary LMにも送られる)
- キャッシュを調べる。キャッシュがヒットしなければ、教師端末からのリクエストをHTTPサーバーに中継する。
- 管理下の全ての端末からHTTPリクエストを受けたかどうかをチェックする。リクエストを出している端末があれば、同じリクエストを出すようにその端末に通知する。
- 各端末からのリクエストの内容を教師端末からのリクエストと比較する。教師端末と異なるリクエストを出している端末が存在すれば、正しいリクエストを出すようにその端末に通知する。
- HTTPサーバから返事(Response)を受け取る(キャッシュがヒットした場合、キャッシュから返事を受け取る)。
- 各端末にHTTPサーバの返事を伝送する。
- Secondary LM管理下の全ての生徒端末のロード終了情報がSecondary LMよりPrimary LMに送られる。
- 全ての生徒端末がロードを終了したことをPrimary LMより教師端末に通知される。
- キャッシングを行なう。
- アクセスログを保存する。

#### 4.3 LM による端末間同期遅延時間の短縮

インターネット上にあるさまざまな情報を利用するために、教師の作成する教材にインターネット

上にあるサーバに対する参照が含まれることがある。LM を採用しない場合、全ての端末から同じリクエストがインターネット上にある HTTP サーバに送信され、同じ返事がインターネット上の HTTP サーバから各端末に返送される。校内 LAN と Internet との接続は通常低速回線によって接続されていることから、この場合大きなネットワーク遅延が発生し、全ての端末が教材をロードしあわるまでにかかる同期達成遅延時間が大幅に増大する懸念がある。一方、LM を利用する場合、端末と LM の間は通常高速ネットワークによって接続されているため、低速回線を通るトラフィックを LM なしの場合の  $1/n$  ( $n$  は授業参加中の端末の台数) まで削減することができ、同期達成までの遅延時間を大幅に改善することができる。

#### 4.4 LM 複数設置による NW 負荷分散

物理的に離れている場所の間の LAN 間接続はダイアルアップまたはデジタル専用線によるものが殆どである。通常の LAN に比べて LAN 間接続の方がバンド幅が細く、ネットワークのボトルネックになりやすい。図 6 の LAN1 と LAN2 にまたがって講義を行ないたい時、両方の LAN に LM を設置することによって、低速回線を通るトラフィックを Secondary LM なしの場合の  $1/m$  まで削減することができる。

#### 4.5 LM 複数設置によるサポートユーザ数の増加

HTTP サーバに同時にアクセスできるクライアントの数には上限がある。LM を経由せず、全てのリクエストが直接に HTTP サーバに送信された場合、サーバの同時アクセス数の上限を超えたリクエストはエラーになってしまう。特に人気のある外部サーバに対するアクセスにおいてはこのような問題が起こりやすい。

LM を利用すれば、一つのリクエストしかサーバに送信されないため、このような問題の起こる確率はかなり低くなる。更に複数の LM を設置することにより、授業に参加できる生徒の数を容易に増やすことができる。

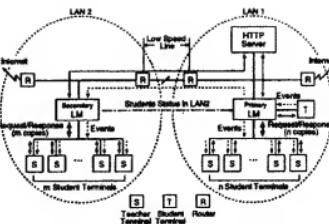


図 6: LM 複数設置による NW 負荷分散

#### 4.6 LM による学習履歴の保存と利用

生徒アクセスログは知的 CAI を実現する上で欠かせない情報である。従来のシステムでは外部サーバに対するアクセスログの採取が困難であったが、本システムでは LM を利用することによって、生徒の全てのアクセス情報を利用しやすい形で収集、利用することができる。

#### 5 おわりに

本稿ではわれわれが開発を進めている、Web を利用した遠隔講義システムについて、教師と生徒間の情報共有を実現する端末間連動と教材同期表示の機能とその実現方法を中心に述べた。本稿で提案する遠隔講義システムの特徴をまとめると以下のようになる。

- (1) Web をベースにしているため、Internet 上にある豊富な素材をそのまま有効利用することができる。
- (2) 端末間教材の同期表示が保証され、かつ教師による生徒端末の教材ロード進行状況を把握できることから、遠隔講義のスムーズな進行が可能になる。
- (3) 教師と生徒端末間の連動の度合が高く、拡張性と汎用性に優れている。
- (4) 負荷分散によるネットワーク資源の有効利用が可能であり、教材表示の同期達成までの遅延時間を低く抑えることができる。

(5) システムはスケーラブルであり、LM の数を増やすことによって大人数の講義が可能である。

今後は 1:N リアルタイム映像の実現、オンラインオーディオの追加など、機能強化を図りながら、本システムを実際の教育現場で使用し、そこから得た知見を本システムに反映していく予定である。

## 参考文献

- [1] 竹本宣弘、田村武志、高田伸彦：“分散型教育における講義操作環境の構築とその検証”，情報処理，Vol.36, No.9, pp.2215-2227 (1995)
- [2] 三浦教史、磯西聰明、辻順一郎：“WWWを利用した教育支援システムの試作と評価”，情報 マルチメディア通信と分散処理研究会 (1995.11.30)
- [3] 久見信一、于冬、三郎清夫：“Web をベースにしたマルチメディア遠隔教育システム”，信学技報 教育工学研究会 (1996.7.13)
- [4] T. Berners-Lee, R. Fielding, H. Fristyk: "Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.0", Internet Draft, February 1996 (Expires August 19, 1996) (<http://www.w3.org/pub/WWW/Protocols/HTTP/1.0/spec.html>)
- [5] Ari Luotonen, Kevin Altis: "World-Wide Web Proxies", April 1994 (<http://www.city.net/cnx/kevin.altis/papers/Proxies/>)
- [6] W. Richard Stevens: "TCP/IP Illustrated, Volume 1", Addison-Wesley, 1994
- [7] W. Richard Stevens: "TCP/IP Illustrated, Volume 3", Addison-Wesley, 1996
- [8] Bob Quinn, Dave Shute: "Windows Sockets Network Programming", Addison-Wesley, 1996
- [9] Nancy J. Yeager, Robert E. McGrath: "Web Server Technology", Morgan Kaufmann, 1996